

УДК 628.93.729.391.1

В.Ф. Рой, Ю.В. Ковальова, В.О. Грініна

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків***АНАЛІЗ РОБОТИ ОДНОФАЗНИХ ТИРИСТОРНИХ РЕГУЛЯТОРІВ З ФУНКЦІЄЮ ПЕРЕТВОРЕННЯ НАПРУГИ**

Аналізується можливість використання методу імпульсно-фазового та широтно-імпульсного регулювання режимами роботи електроустановок з метою оптимізації їх електротехнічних параметрів та підвищення надійності роботи. Розглянуті в роботі тиристорні регулюючі пристрої з природною комутацією змінного струму в режимах ІФР та ШПР дають змогу на основі знайдених залежностей для термінів та струмів перемикання, визначити необхідні параметри відповідних електричних схем регулюючих пристроїв електричних установок.

Ключові слова: комутаційний пристрій, регулюючий пристрій, тиристорний ключ, активне та реактивне навантаження, стабілізатор напруги.

Постановка проблеми

Розвиток силової напівпровідникової електроніки сприяв створенню багатофункціональних безконтактних електротехнічних апаратів, що дало змогу суттєво розширити технічні можливості сучасних систем в електроенергетиці на якісно новому рівні. Це обумовлено, насамперед, їх високою швидкодією та практично необмеженим ресурсом струмообмеження і регулювання потужності в мережах напруги до 10 кВ, можливістю синхронного регулювання системами електропостачання, керуванням і комутацією різноманітного типу навантаження. [1, 2].

Впровадження потужних керованих тиристорних ключів дало змогу створювати безконтактні комутаційно-регулюючі апарати, які дозволяють ефективно вирішувати проблеми швидкодіючого керування, відключення та струмообмеження в різноманітних електричних системах, що сприяє, зокрема, створенню якісно нового рівня захисту таких систем від перевантажень [3]. Ще однією актуальною проблемою застосування безконтактних комутуючих пристроїв класу 6-10 кВ є розробка пристроїв для вирішення задачі автоматичного введення резерву, насамперед, у мережах з потужними синхронними електродвигунами, які використовуються в переважній більшості промислових підприємств.

Метою даної статті є аналіз можливостей використання сучасних силових тиристорних ключів в одній із важливих сфер застосування – ефективних методах регулювання струму в навантаженні, які можуть бути застосовані не тільки в регуляторах потужності електричних установок, але також в ключових стабілізаторах напруги та

інших споживачах стабілізованого струму, а саме – регулювання в навантаженні з протито-ерс. Відмінністю таких схем є наявність в ланцюгу навантаження індуктивного, ємнісного або резистивного баласту, який обмежує величину струму навантаження. Регулювання режимами електричних установок середньої величини струмів навантаження (менше за 50 А) за допомогою тиристорних комутаційних пристроїв (КП) може бути двох видів: імпульсно-фазовим (ІФР), або широтно-імпульсним (ШПР). Реалізується режим ІФР зміною кута ввімкнення силового тиристора (СТ) на протязі півперіоду коливань мережної напруги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Схеми однофазних КП з функціями перетворення змінної напруги в постійне, що регулюються, використовують для живлення обмоток збудження електродвигунів постійного струму, керування електромагнітами постійного струму, стабілізації напруги і струму [4]. Найбільш часто в якості такого навантаження використовують електродвигун або ланцюг, утворений із послідовно з'єднаних активного навантаження і дроселя, який використовують для зниження рівня радіоперешкод, що утворюються при роботі КП [5]. На рисунку 1 наведені типові електричні схеми таких КП, де L , R – еквівалентні індуктивність і активний опір навантаження відповідно, що характеризується режимами: пусковим, сталим і відключенням.

Викладення основного матеріалу

В сталому режимі роботи КП на котушку управління електромагнітом (ЕМ) постійного струму силовий тиристор (СТ) ввімкнений на

протязі всього терміну пуску t_n , що перевищує час спрацювання ЕМ $t_{сн}$.

В усталеному режимі КП функціонує в режимі ІФР. При цьому, в інтервалі часу $\psi/\omega \leq t \leq T/2$ ввімкненого стану СТ VS процес (з припущенням $L=\text{const}$), що відбувається в КП описується рівнянням [7]:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi) = L \frac{di}{dt} + Ri, \quad (1)$$

де ψ – кут комутації, що відповідає моменту включення тиристора VS.

Його рішення з початковою умовою $i(0) = I_{поч}$ має вигляд

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi - \varphi) + [I_{поч} - I_m \sin(\psi - \varphi)] e^{-t/\tau}, \quad (2)$$

де $I_m = U_m/z$; $z = \sqrt{(\omega L)^2 + R^2}$; $\varphi = \arctg(\omega\tau)$; $\tau = L/R$.

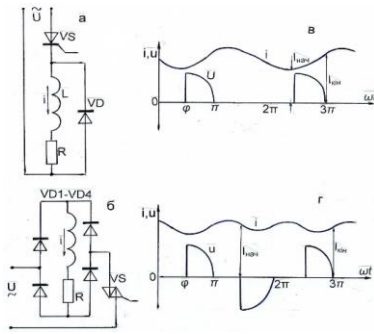


Рис. 1. Регулюючі тиристорні пристрої керування електромагнітними механізмами з однопівперіодним (а) і двохпівперіодним (в) випрямленням напруги і діаграми їх роботи (в) і (г)

За час ввімкненого стану силового тиристора VS $t = (\pi - \psi)/\omega$ струм навантаження i приймає кінцеве значення

$$I_{кін} = I_m \sin \varphi + [I_{поч} - I_m \sin(\psi - \varphi)] e^{-(\pi - \psi)/(\omega\tau)}. \quad (3)$$

За період вимкненого стану СТ $T/2 \leq t \leq \frac{(k_o + 1)\pi + \psi}{\omega}$,

де $k_o = 1$ і $k_o = 0$ для схем з однопівперіодним (рис. 1, а) і двохпівперіодним (рис. 1, б) випрямлячем) струм i зменшується через діоди випрямлячів від кінцевої величини $I_{кін}$ до початкової $I_{поч}$. Процес такого спаду струму описується рівнянням [8]:

$$-(2 - k_o)U_n = L \frac{di}{dt} + RI, \quad (4)$$

де U_n – порогова напруга діода.

Рішення з початковою умовою $i(0) = I_{кін}$:

$$i = -\frac{2 - k_o}{R} U_n + (I_{кін} + \frac{2 - k_o}{R} U_n) e^{-t/\tau}. \quad (5)$$

За час вимкненого стану СТ $VSt = (k_o\pi + \psi)/\omega$ струм навантаження i спадає до початкової величини

$$I_{поч} = \frac{k_o - 2}{R} U_n + (I_{кін} - \frac{2 - k_o}{R} U_n) e^{-(k_o\pi + \psi)/(\omega\tau)}. \quad (6)$$

Сумісне рішення рівнянь (2) і (6) дає залежність для початкового струму

$$I_{поч} = I / a, \quad (7)$$

$$\text{де } I = I_m e^{-k_o\pi/(\omega\tau)} [e^{-\psi/(\omega\tau)} \sin \varphi - e^{-\pi/(\omega\tau)} \sin(\psi - \varphi) + a \frac{k_o - 2}{R} U_n];$$

$$a = 1 - e^{-(k_o\pi + \psi)/(\omega\tau)}.$$

Якщо в якості навантаження КП застосовується котушка керування ЕМ, то величина цього струму із умови відсутності вібрації якоря ЕМ повинна задовольняти нерівності $I_{поч} > I_{відн}$, де $I_{відн}$ – струм відпускання ЕМ. При цьому середнє значення струму навантаження:

$$I_{cp} = \frac{\omega}{(k_o + 1)\pi} \left[\int_0^{\pi - \psi} i(1) dt + \int_0^{k_o\pi + \psi} i(2) dt \right], \quad (8)$$

де $i(1)$, $i(2)$ – відповідають значенням (3) і (5), відповідно.

Після відповідних перетворень (8) отримаємо

$$I_{cp} = 1/(k_o + 1)\pi \{ I_m [\cos \varphi + \cos(\psi - \varphi)] + \omega\tau [I_{поч} - I_m \sin(\psi - \varphi)] (1 - e^{-(\pi - \psi)/(\omega\tau)}) + \frac{k_o - 2}{R} (k_o\pi + \psi) U_n + a\omega\tau (I_{кін} - \frac{k_o - 2}{R} U_n) \} \quad (9)$$

В режимі відключення КП час відпускання якоря ЕМ $t_{відн}$ складається з терміну виключення СТ $t_{відк} = (\pi - \psi)/\omega$ і спаду струму i до величини відпускання якоря ЕМ $I_{відн}$ [9] $t_{відн} = t_{відк} + t_{сн}$.

$$t_{сн} = \tau \ln \frac{I_{кін} - \frac{k_o - 2}{R} U_n}{I_{відн} - \frac{k_o - 2}{R} U_n}. \quad (10)$$

При цьому, постійна часу котушки ЕМ τ зважаючи на умови відсутності вібрації якоря в усталеному режимі ($i > I_{відн}$) повинна відповідати нерівності $\tau > (k_o + 1)\pi/\omega$.

Висновки

Проведений аналіз перехідних процесів, що виникають при комутації струму навантаження тиристорними комутаційними пристроями дозволяє встановити залежності для розрахунку параметрів вимикачів і обмежувачів струмів навантаження при активно-індуктивному навантаженні (двигун, електромагніт та ін.), дає змогу встановити залежності для розрахунку таких регуляторів. Дослідження процесів перемикання мережі живлення тиристорними ключами дозволяють встановити залежності для термінів і параметрів перемикання струмів навантаження.

Аналіз отриманих залежностей дає змогу визначити оптимальні по критерію максимуму

швидкодії та надійності принципи побудови і розробки методів розрахунку тиристорних комутаційних пристроїв з резисторним і реакторним обмеженням робочого струму.

Література

1. Поскребко, А.А. Бесконтактные коммутационные и регулирующие полупроводниковые устройства [Текст] / А.А. Поскребко. – М.: Энергия. – 1989. – 362 с.
2. Краснопольский, А.Е. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп [Текст] / А.Е. Краснопольский, В.Б. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, – 1999. – 207 с.
3. Бенцигер, Т.Д. Светорегулирование в осветительных системах [Текст] / Т.Д. Бенцигер // Светотехника, – 2002. – №1. – С. 27-30.
4. Соловьев, А.К. Автоматическое регулирование искусственного освещения и его эффективность [Текст] / А.К. Соловьев // Светотехника, – 1999. – №5. – С. 2-5.
5. Фомин, Ф.Г. Системы автоматизированного управления освещением общественных зданий [Текст] / Ф.Г. Фомин // Новости светотехники. Дом света. – М. – 1998. – 231 с.
6. INTELUX Manual Edition // 9906D, Page 17.
7. Сосков, А.Г. Промислова електроніка: Підручник [Текст] / А.Г. Сосков, Ю.П. Колонтаєвський. – К.: Каравелла, – 2013. – 496 с.
8. Колонтаєвський, Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник [Текст] / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков. – К.: Каравелла, 2007. – 384 с.
9. Флоренцев, С.Н. Состояние и тенденции развития силовых IGBT –модулей [Текст] / С.Н. Флоренцев. Электротехника, – 2008, №4, С. 27-35.

References

1. Poskrebko, A. A. (1989). Non-contact switching and regulating semiconductor devices. *Moscow: Energia*, 362.
2. Krasnopolsky, A. E., & Sokolov, V. B. (1999). Start-up devices for discharge lamps. *Moscow: Energoatomizdat*, 207.
3. Benziger, T. D. (2002). Light regulation in lighting systems. *Light engineering*, 1, 27-30.
4. Soloviev, A. K. (1999). Automatic control of artificial lighting and its effectiveness. *Lighting Engineering*, 5, 2-5.
5. Fomin, F. G. (1998). Systems of automated control of lighting of public buildings. *News of lighting engineering. House of light*, M., 231.
6. INTELUX Manual Edition, 9906D, Page 17.
7. Soskov, A. G., & Kolontaevskyy, J. P. (2013). Industrial electronics. *Textbook*, K.: caravel, 496.
8. Kolontaevskyy, J. P., & Soskov, A. G. (2007). Electronics and microcircuitry. *Textbook*, K.: caravel, 384.
9. Florentsev, S. N. (2008). State and development trends of power IGBT-modules. *Electrical Engineering*, 4, 27-35.

Автор: РОЙ Віктор Федорович

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, доктор фізико-математичних наук, професор
E-mail– office@kname.edu.ua

Автор: КОВАЛЬОВА Юлія Вікторівна

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, кандидат технічних наук, асистент
E-mail– kovalova.jv@gmail.com

Автор: ГРІНІНА Вікторія Олегівна

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, аспірант
E-mail– viktoriagriniina@gmail.com

АНАЛИЗ РАБОТЫ ОДНОФАЗНЫХ ТИРИСТОРНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ С ФУНКЦИЕЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

В.Ф. Рой, Ю.В. Ковалёва, В.О. Гринина

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков

Анализируется возможность использования метода импульсно-фазового регулирования режимов работы электроустановок с целью оптимизации их электротехнических параметров и повышения надёжности их работы. Рассмотренные в работе тиристорные регулирующие устройства с естественной коммутацией переменного тока в режимах ИФР позволяют на основе найденных зависимостей для времён и токов переключения рассчитать необходимые параметры соответствующих электрических схем регулирующих устройств электрических установок.

Ключевые слова: коммутационное устройство, регулирующее устройство, тиристорный ключ, активная и реактивная нагрузка, стабилизатор напряжения.

ANALYSIS OF THE WORK OF SINGLE PHASE WITH FUNCTION THYRISTOR VOLTAGE CONVERSION

V. Roy, J. Kovalova, V. Grinina

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

The possibility of pulse-phase control electrical installations using, with its of their electrical parameters optimization and increasing the reliability of their work is analyzed in the paper.

Thyristor regulating devices with natural AC commutation in pulse-width and phase-pulse modes, considered in the paper, allow to obtain necessary parameters of the appropriate electrical circuits of electrical installations control devices on the base of founded characteristics for switching time and currents.

Analysis of the dependencies to determine the optimum construction principles and design calculation methods thyristor switching devices and set dependencies for calculating the parameters of regulators.

Keywords: switching device, control device, thyristor switch, active and inductive-capacitive load, voltage regulator.